

Reforma como estratégia de manutenção: um estudo de caso comparativo entre o desempenho de caminhões fora de estrada novos e reformados em uma empresa de mineração

Reform as maintenance strategy: a comparative case study between the performance of new and refurbished off-road trucks in a mining company

El reacondicionamiento como estrategia de mantenimiento: un estudio de caso comparativo entre el desempeño de camiones todoterreno nuevos y reacondicionados en una empresa minera

Recebido: 24/05/2022 | Revisado: 12/06/2022 | Aceito: 12/06/2022 | Publicado: 22/06/2022

Bruno Trindade Gomes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6322-4832>
Instituto Federal de Minas Gerais, Brasil
E-mail: btrindadeg@yahoo.com.br

Leandro César Mol Barbosa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7186-5405>
Instituto Federal de Minas Gerais, Brasil
E-mail: leandro.mol@ifmg.edu.br

Natália Pereira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9686-8573>
Instituto Federal de Minas Gerais, Brasil
E-mail: natalia.pereira@ifmg.edu.br

Luiza Bernardes Real

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5651-7581>
Instituto Federal de Minas Gerais, Brasil
E-mail: luiza.real@ifmg.edu.br

Resumo

A utilização de equipamentos reformados é considerada como uma alternativa sustentável, capaz de reduzir custos de aquisição nas organizações. Este artigo tem como objetivo realizar um comparativo entre o desempenho de caminhões fora de estrada novos e reformados em uma empresa de mineração. Para isso, foi realizado um estudo de caso, utilizando os indicadores de desempenho de manutenção: Disponibilidade Física (DF), Mean Time Between Failures (MTBF) e Mean Time To Repair (MTTR). Como resultado foi possível verificar que, embora os caminhões novos tenham apresentado melhores resultados nos indicadores, a disponibilidade média dos caminhões reformados encontra-se dentro dos padrões de desempenho indicados pelo cliente. Além disso, foi verificada uma tendência de melhoria de desempenho nos caminhões reformados, por meio de ações de manutenção conjunta com foco na redução de falhas prematuras, aproximando o seu desempenho ao dos caminhões novos.

Palavras-chave: Indicadores de desempenho; Disponibilidade física; Mean time between failures; Mean time to repair; Caminhões fora de estrada.

Abstract

The use of refurbished equipment is considered a sustainable alternative, capable of reducing acquisition costs in organizations. This article aims to compare the performance of new and refurbished off-road trucks in a mining company. For this, a case study was carried out, using maintenance performance indicators: Physical Availability (DF), Mean Time Between Failures (MTBF), and Mean Time To Repair (MTTR). As a result, it was possible to verify that although the new trucks have presented better results in the indicators, the average availability of the refurbished trucks are within the performance standards indicated by the customer. A trend of improvement in the performance of refurbished trucks was verified with joint maintenance actions to reduce premature failures, bringing their performance closer to that of new trucks.

Keywords: Performance indicators; DF; MTBF; MTTR; Off-Highway trucks.

Resumen

El uso de equipos reacondicionados se considera una alternativa sustentable, capaz de reducir los costos de adquisición en las organizaciones. Este artículo tiene como objetivo comparar el desempeño de camiones todoterreno nuevos y reacondicionados en una empresa minera. Para ello, se realizó un estudio de caso, utilizando indicadores de

desempeño de mantenimiento: Disponibilidad física (DF), Tiempo medio entre fallas (MTBF) y Tiempo medio de reparación (MTTR). Como resultado se pudo verificar que si bien los camiones nuevos han presentado mejores resultados en los indicadores, la disponibilidad promedio de los camiones reacondicionados se encuentran dentro de los estándares de desempeño indicados por el cliente. Hubo una tendencia a mejorar el desempeño de los camiones reacondicionados con acciones de mantenimiento conjunto para reducir las fallas prematuras, acercando su desempeño al de los camiones nuevos.

Palabras clave: Indicadores de rendimiento; DF; MTBF; MTTR; Camiones todo terreno.

1. Introdução

A realização de reformas em equipamentos industriais apresenta-se como uma alternativa promissora no contexto de produção atual. De acordo com a Agência Brasil (2021), o setor de bens de capital no Brasil obteve resultados positivos, com um aumento de produção de 2,9% em 2021, dos quais 1,6% referem-se a indústria de máquinas e equipamentos.

A busca pela melhoria, segundo Kardec (2009), imprime a necessidade de mudanças para manutenção assim como em qualquer outra atividade. Estas mudanças são consequências do aumento da diversidade de instalações e equipamentos, compreendendo projetos cada vez mais complexos, assim como novas formas de manutenibilidade. Essas mudanças estão relacionadas ao afloramento da manutenção como função estratégica, em que essa passa a ser uma peça-chave na otimização dos resultados organizacionais (Marcorin & Lima, 2003).

Uma das formas de promover a melhoria na manutenção, se dá pela implementação de métodos mais eficientes de atuação, que reduzam falhas, otimizem processos e eliminem custos (Bazi & Trojan, 2014). Um destes métodos consiste na utilização de equipamentos reformados. Por meio deles é possível obter um menor custo de aquisição para ser utilizado nos processos produtivos. A utilização deste tipo de estratégia contribui tanto para geração de valor em toda cadeia produtiva, quanto para a sustentabilidade em si (Husniah et al., 2018).

Embora os custos de aquisição sejam mais baixos, a utilização de equipamentos reformados não é garantia de que os custos totais de produção serão reduzidos, uma vez que seu desempenho pode afetar diretamente o volume produzido. Desta forma, é necessário que o equipamento seja devidamente atestado, o que pode ser feito por meio de indicadores de manutenção. Por meio deles, é possível medir o tempo gasto com reparos, o tempo de funcionamento médio entre as falhas, assim como a sua disponibilidade. Estes indicadores trazem informações de desempenho necessárias para que o sistema de controle de manutenção tenha a eficácia esperada, promovendo uma melhor tomada de decisão (Pinto, 2002).

Este artigo tem como objetivo realizar uma comparação entre a utilização de caminhões fora de estrada reformado e novos, utilizando para isso indicadores de manutenção obtidos por meio de dados de inspeções, manutenções preventivas, corretivas e execução de backlogs. Para tanto, foi utilizado um estudo de caso realizado em uma empresa do setor de mineração, a qual possui em sua frota de transporte, caminhões fora de estrada que realizam a movimentação de toda a produção de minério e estéril de uma mina localizada no estado de Minas Gerais.

O artigo encontra-se estruturado da seguinte forma: no tópico 2 foi abordado o referencial teórico, o qual foi dividido em duas partes. Na primeira parte são tratados os conceitos de manutenção preventiva, Manutenção Produtiva Total (TPM) e Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC), culminando com os indicadores de manutenção. Na segunda parte foram tratados os caminhões fora de estrada e suas principais características. No tópico 3, foram abordados os procedimentos metodológicos utilizados. O tópico 4 consistiu na apresentação dos resultados, em que os dados tratados foram demonstrados na forma de indicadores e a comparação entre os caminhões fora de estrada foi realizada. No tópico 5, foi estruturada a discussão dos resultados, em que estes foram abordados em função da literatura e do contexto da organização. No tópico 6, foi realizada a conclusão do estudo, com as considerações finais pertinentes.

2. Referencial Teórico

2.1 Manutenção preventiva

A norma NBR 5462 define manutenção preventiva como uma forma de manutenção realizada em intervalos fixos planejados, ou de acordo com outros critérios devidamente prescritos e programados (ABNT, 1994). Para Kardec & Nascif (2009), esse tipo de manutenção tem seu foco na redução ou contenção da falha, assim como na prevenção da queda de desempenho de um item. Isso faz com que ela traga uma maior confiabilidade operacional, necessária para o funcionamento dos equipamentos e sistemas (Viana, 2002).

A realização da manutenção preventiva deve ser considerada nos seguintes contextos: quando a manutenção preditiva não puder ser realizada; em ocasiões em que aspectos de segurança pessoal ou da instalação tornam obrigatória a intervenção para substituição de componentes; em equipamentos críticos que apresentem uma difícil liberação para operação para manutenção, quando observada uma oportunidade; quando existirem riscos de danos ao meio ambiente; e em sistemas de alta complexidade e/ou de operação contínua. (Kardec & Nascif, 2009)

Um dos principais quesitos que diferencia a manutenção preditiva de outros tipos de manutenção, segundo Teles (2019), é a definição da periodicidade em que deve ser executada. Essa pode se dar em função do tempo, como no caso de uma lubrificação realizada em períodos fixos recomendados pelo fabricante, em função das horas de funcionamento de um determinado conjunto, peça ou componente, ou em função da produtividade, em que a orientação se dá pela quantidade de peças produzidas. A recomendação de periodicidade também pode ser mista, em que se utiliza, por exemplo, a lubrificação periódica e a quantidade de horas de utilização um item ao mesmo tempo, sendo a manutenção realizada conforme o que ocorrer primeiro.

2.2 Manutenção produtiva total

A Manutenção Produtiva Total ou Total Productive Maintenance (TPM) tem sua origem no Japão, em uma organização pertencente ao grupo Toyota® na década de 70. O seu desenvolvimento foi baseado na manutenção preventiva a qual sofreu diversos implementos até dar origem ao conceito de Manutenção Produtiva Total como é conhecido (Sperancetta, 2005). No Brasil, a TPM começou a ser introduzida em 1986 pela Fiat® (Kardec & Nascif, 2009).

A TPM consiste em um sistema de gerenciamento que engloba diversas áreas da manutenção, com foco principal na redução das perdas. É pautada na obtenção de maturidade e permanente crescimento individual das equipes envolvidas, qualificando pessoas, melhorando processos produtivos, bem com a qualidade dos produtos e serviços (Biasotto, 2006).

A implantação da TPM deve ser moldada de forma a trazer efetividade no uso dos equipamentos e, como consequência, a eficiência global dos processos. Isso pode ser feito por meio de uma atuação mais detalhada, a qual engloba o ciclo de vida dos equipamentos de forma engajada por toda a estrutura organizacional. Para isso, é necessário envolver desde os Stakeholders até as unidades operacionais como um todo (Tsuchiya, 1992).

Conforme Fuentes (2006), para a implantação da TPM deve-se pensar de forma individual. Embora possam existir particularidades de empresa para empresa, suas metas devem ser exclusivas para cada caso analisado, porém, mantendo-se características comuns. Estas características básicas são conhecidas como os oito pilares da TPM, que têm como função sustentar sua implementação. Eles compreendem a manutenção planejada; melhorias focadas na redução das perdas; controle inicial com implementação de projetos para redução de falhas prematuras; educação e treinamento; manutenção da qualidade; controle administrativo; cuidado ambiental, segurança e higiene e finalmente manutenção autônoma.

A implementação da TPM traz consigo algumas vantagens. Dentre elas está o foco no crescimento da produtividade através da motivação dos trabalhadores e a familiarização da operação com o equipamento. Além disso, pode ser esperada a promoção de uma postura de preservação das máquinas e a formação de pequenos grupos de atividades. Estes são chamados de

grupos de zero defeitos e tem como propósito fazer com que os conhecimentos de todos os envolvidos sejam plenamente utilizados (Bohoris et al., 1995).

O engajamento das partes envolvidas, segundo Kardec e Nascif (2009), tem grande contribuição para o sucesso e implantação do TPM. Esse pode ser considerado como um de seus principais objetivos. As responsabilidades de cada uma das partes são divididas conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 - Responsabilidades da equipe envolvida no TPM.

Setor	Responsabilidades no TPM
Operação	Executar pequenas atividades de manutenção corriqueiras (ajustes, lubrificação, entre outras).
Manutenção	Executar tarefas na área da eletromecânica.
Engenharia	Planejar, projetar e contribuir para o desenvolvimento de equipamentos e sistemas que não requerem manutenção.

Fonte: Adaptado de Kardec & Nascif (2009).

Outro objetivo da TPM, segundo Bohoris et al., (1995), está no aumento da disponibilidade de um equipamento existente, sem a necessidade de investimentos adicionais sobre ele. Considerando a atuação sobre os recursos humanos, a TPM visa alcançar resultados na melhor utilização dos equipamentos, proporcionando uma forma de mesclar a alta qualidade dos produtos e o baixo custo de mão de obra.

2.2.1 Quebra zero

Os oito pilares que norteiam a filosofia TPM, definem uma série de precauções para o alcance de suas metas. Dentre elas, a quebra-zero destaca-se como principal (Fuentes, 2006). Para Kardec e Nascif (2009), as quebras podem ser consideradas como o fator que mais contribui negativamente para o rendimento operacional. Como as máquinas foram desenvolvidas para trabalhar com zero defeitos, devem ser estipuladas soluções de engenharia e medidas corretivas para o atingimento deste objetivo. Porém, deve-se ressaltar que isso não significa que o equipamento não pode parar, uma vez que para que a redução das quebras seja possível, as paradas programadas são importantes.

Outro ponto importante sobre a quebra-zero é que, embora seja considerada mais como um ideal do que como uma condição possível ou financeiramente viável, sua busca incessante diminui continuamente as falhas e interrupções (Fogliatto & Ribeiro, 2011). Desta forma, para buscar a quebra-zero, objetivos específicos devem ser perseguidos, tais como eliminação das grandes perdas: paradas por quebra, tempos de preparação e ajustes, baixa taxa de produção, ociosidade e interrupções, defeitos e retrabalho e perdas na partida. Além disso, deve-se fazer uso de outros pilares da TPM como a manutenção autônoma, a manutenção planejada, assim como da educação e treinamento (Fuentes, 2006).

Kardec e Nascif (2009) também destacam outras medidas fundamentais para a obtenção da quebra zero, as quais estão presentes no Quadro 2.

Quadro 2 - Medidas para obtenção quebra zero.

Medida	Ação	Responsabilidade
Estruturação das condições básicas para operação	Limpeza de área, asseio, lubrificação e organização.	Operação
Respeitar as condições de uso	Operar equipamentos dentro das condições e limites estabelecidos.	Operação
Regeneração do Envelhecimento	Recuperação do equipamento por problemas de envelhecimento e evitar quebras futuras.	Manutenção
	Eliminação das causas de envelhecimento dos equipamentos.	
	Restaurar equipamentos periodicamente, retornando as condições originais.	
Sanar pontos falhos decorrentes de projeto	Corrigir eventuais deficiências do projeto original.	Engenharia
	Fazer previsão da vida média através de técnicas de diagnóstico.	
Incrementar Capacidade Técnica	Capacitar e desenvolver o elemento humano a fim de ser capaz de diagnosticar e atuar quando necessário.	Recursos Humanos

Fonte: Adaptado de Kardec e Nascif (2009).

2.3 Manutenção centrada na confiabilidade

O nascimento da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) se deu a fim de minimizar problemas no setor de aviação na década de 60 nos Estados Unidos, sendo amplamente utilizada até os dias de hoje (Viana, 2002). Para Fogliatto e Ribeiro (2011), essa pode ser definida como um conjunto de práticas de engenharia que tem como objetivo manter todos os equipamentos de uma frota ou planta industrial em perfeitas condições de funcionamento.

A MCC tem como principais características o foco na preservação da função de um item e para isso utiliza-se da identificação dos modos de falha e seleção das tarefas de manutenção mais efetivas. A MCC pode ainda, buscar melhorias nos indicadores desempenho da manutenção como: a disponibilidade, confiabilidade e segurança do sistema. Para isso, utiliza-se de diversos procedimentos e ferramentas para a gestão da manutenção, tais como as árvores de decisão e a Análise do Modo de Falha e Efeito (AMFE). Seu uso é feito de maneira sistemática, necessária para apoiar de forma efetiva as decisões estratégicas da manutenção (Fuentes, 2006).

Sete questões básicas precisam ser contempladas pelo programa MCC as quais podem ser representadas na forma de perguntas: Quais funções e padrões de desempenho são esperados para os equipamentos? Qual o modo que os equipamentos podem falhar ao cumprir suas funções? O que provoca a causa de cada falha funcional? O que advém quando cada falha acontece? De que maneira cada falha interessa? Qual o plano de ação na mitigação e prevenção das falhas? O que fazer quando não pode ser implantada uma atividade proativa pertinente? Moubrey (1997).

A aplicação da MCC traz consigo a criação de programas de manutenção que reduzem as consequências de falhas em equipamentos (Souza, 2011). Para tanto, é necessário estimar não somente quando as falhas podem ocorrer (Hopkinson et al., 2016), mas também os modos de falhas funcionais, sua hierarquia e consequências para o sistema, com base nos quais a seleção de tarefas preventivas é realizada (Souza, 2011). Trata-se de uma estratégia que se utiliza da manutenção focada na prevenção para chegar a ativos mais confiáveis, com reduzidas taxas de falha.

2.4 Indicadores de desempenho

Os indicadores de desempenho são importantes em diversos segmentos de negócios, sendo aplicados na indústria para medir diferentes tipos de operações (Sperancetta, 2005). De acordo com Branco Filho (2006), os indicadores englobam dados estatísticos estipulados sobre os processos aos quais se almeja controlar. Esses formam a base para a tomada de decisões, uma vez que compreendem informações concretas do que de fato acontece em determinado processo, eliminando a percepção, a intuição e a subjetividade na análise de determinado setor ou equipamento e estabelecendo metas Branco Filho (2006).

A determinação de metas para se medir o desempenho é fundamental e representa o compartilhamento e compreensão das expectativas. A partir de seu entendimento é possível determinar a mobilização de recursos, a avaliação e revalidação das ações necessárias, o reconhecimento e recompensa dos resultados (Ribeiro, 2017). Além disso representam um importante papel para a melhoria contínua, tanto no controle de operações e redução de custos, como também na satisfação dos clientes (Fonseca & Rozenfeld, 2012).

2.5 Indicadores de manutenção

A implantação de indicadores para a manutenção representa uma grande contribuição, sobretudo para as tomadas de decisão. Esses são considerados por Branco Filho (2006) como dados que refletem o desempenho dos processos de manutenção aos quais há a necessidade de controle. São usados tanto para comparação com situações anteriores, como com o objetivo de medir a performance com base em novos padrões estabelecidos. Como consequência, auxilia o setor de manutenção na busca do bom desempenho de um equipamento, ou mesmo na medição do nível de eficiência das operações, a fim de verificar se a mão de obra está sendo bem aproveitada e se o atendimento da manutenção está dentro do planejado.

O Tempo Médio Entre Falhas (TMEF), do inglês - Mean Time Between to Failure (MTBF) é considerado um dos mais importantes indicadores da manutenção. De acordo com Teles (2019) o MTBF é utilizado para medir o tempo médio existente entre uma falha e outra, conforme a fórmula:

$$MTBF: \frac{\sum \text{Horas de trabalho}}{\text{Número falhas funcionais}} \quad (1)$$

O aumento do MTBF ao longo do tempo indica que o número de intervenções corretivas realizadas sofreu um decréscimo. Este pode ser considerado como um sinal positivo, uma vez que o total de horas disponíveis para a operação aumentou (Viana, 2002). O oposto pode ser observado com a diminuição do MTBF.

O Tempo Médio para Reparo (TMPR) ou Mean Time To Repair (MTTR) traz como medida o tempo médio para reparar um determinado item. Para Telles (2019), este indicador mostra o tempo médio que o mantenedor gastou para colocar o equipamento novamente em funcionamento. Quanto menor este tempo, melhores os resultados para a manutenção. O MTTR pode ser expresso pela seguinte fórmula:

$$MTTR: \frac{\sum \text{Tempos de reparo das falhas funcionais}}{\text{Número intervenções}} \quad (2)$$

A NBR 5462 define o indicador de Disponibilidade Física como uma forma de medir a capacidade de um ativo, verificando se este está em condições de executar suas funções em um determinado momento ou em um dado intervalo de tempo. Para isso, leva em consideração aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte da manutenção (ABNT, 1994).

O cálculo realizado para encontrar a disponibilidade física, de acordo com Teles (2019), leva em conta todas as intervenções corretivas e preventivas, podendo ser expresso pela seguinte fórmula:

$$DF = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} * 100\% \quad (3)$$

De acordo com os padrões definidos pela Classe Mundial¹, o valor da disponibilidade global dos equipamentos e instalações devem ser maiores que 85% (Teles, 2019).

2.6 Caminhões fora de estrada

O meio de transporte de material mais utilizado na mineração para a logística interna são os caminhões fora de estrada (Darling, 2011). Embora existam outros meios de transporte como as correias transportadoras, o uso destes caminhões se destaca nas indústrias de extração mineral com minas de céu aberto. Isso se dá pelo fato de serem equipamentos que contam com uma grande capacidade de movimentação de carga. Para Ricardo e Catalani (2007), estes são caracterizados pela sua força e pelo seu porte elevado, o que acaba por impossibilitar seu uso em rodovias. Isso faz com que eles sejam exclusivamente fabricados para trabalhos pesados.

Sua configuração conta com um chassi, trem de força, sistemas de suspensão, sistemas de freio, sistema hidráulico e caçamba, podendo ser encontrado no mercado em diferentes tamanhos e modelos que variam conforme fabricante. Sua capacidade de carga pode variar 20 toneladas, no caso dos menores caminhões, até 450 toneladas. Em termos de velocidade, os caminhões fora de estrada, chegam a atingir até 60 Km/h (Jaworski, 1997).

A operação de transporte do material e a operação de carregamento de um caminhão fora de estrada são diretamente dependentes. Isso se dá uma vez que o dimensionamento da frota necessária para atender a uma planta, depende diretamente do porte dos caminhões. Esse porte necessita ser compatível com as dimensões das máquinas de carregamento, o que faz com que seja reduzido o desperdício e, conseqüentemente, aumentada a produtividade (Vieira, 2021).

Além deste fator, existem outras questões que podem influenciar de forma direta no rendimento de um caminhão fora de estrada. De acordo com Coutinho (2017), a padronização da largura, inclinação e condição do piso das praças de carregamento, o bom controle de tráfego, bem como o treinamento e a capacitação dos operadores são fundamentais. As conseqüências por não adotar estas recomendações implica em aumento de custos e perda de produtividade.

Os caminhões fora de estrada foram projetados para operar em condições severas, e possuem uma grande relevância nas mineradoras. Seu bom desempenho é essencial para a saúde financeira das organizações que esperam um alto rendimento destes equipamentos, contribuindo no alcance de seus objetivos. No entanto, estes ativos podem vir a falhar podendo trazer conseqüências como queda de produção e elevação dos custos de manutenção, caso o problema não seja corrigido em tempo considerável. As políticas de manutenção têm como objetivo prolongar a vida útil destes itens a fim de evitar quebras catastróficas, bem como minimizar seus custos e aumentar a produtividade (Toledo et al., 2016).

Assuntos como a manutenção em caminhões fora de estrada ou mesmo a viabilidade de sua operação são foco de diversos estudos da área. Dentre eles, pode-se destacar aqueles relacionados à redução dos custos de manutenção e melhoria da disponibilidade, como em Morad e Sattarvand (2013), que analisaram a possibilidade de aplicação de redes neurais para a redução de gastos com troca de pneus; Kesimal e Bascetin (2000), que verificaram o melhor período para a substituição de caminhões fora de estrada baseados, entre outras coisas, nos custos de manutenção; Morad et al., (2013), que descrevem o uso da Manutenção Centrada em Confiabilidade com o intuito de reduzir quebras e custos, além de aumentar a vida útil de caminhões fora de estrada; e Ruspini e Kurniati (2019), que analisaram o tempo total de inatividade e sua influência na disponibilidade desses equipamentos.

¹ Os indicadores de classe mundial são utilizados nas organizações que buscam excelência nas suas operações tendo o setor de manutenção como a principal parte estratégica do seu negócio. Para estas organizações manutenção como a principal engrenagem para gerenciar seus ativos e levá-los ao mais alto nível de desempenho (Venanzi, Leandro & Silva, 2019).

3. Metodologia

Este artigo teve como objetivo realizar um estudo comparativo do desempenho de caminhões fora de estrada reformados com equipamentos novos, utilizando para isso indicadores de manutenção. Para tanto, foi realizado um estudo de caso descritivo e quantitativo em uma empresa do ramo de mineração, a qual contratou o serviço de reforma destes equipamentos. O método de estudo de caso foi desenvolvido no intuito de aprofundar ao máximo no objeto analisado, no caso, a reforma de caminhões fora de estrada, com o intuito de fornecer uma visão global do problema e identificar possíveis fatores de influência (Gil, 2008). Conforme objetivos propostos, esse pode ser encarado como o planejamento mais apropriado, uma vez que visa investigar o fenômeno dentro do seu real contexto (Yin, 2001).

Dados seus objetivos, o estudo de caso realizado pode ser classificado como descritivo. Os estudos de casos descritivos têm como finalidade investigar de forma prática como os fenômenos se comportam (Marconi & Lakatos, 2003). Neste caso em específico, visa descrever as implicações da revitalização de caminhões fora de estrada, avaliando os resultados de seu desempenho para a organização. A pesquisa descritiva direciona-se à interpretação dos fatos sem a interferência do pesquisador (Prodanov & Freitas, 2013). Além disso, a abordagem utilizada foi a quantitativa. Knechtel (2014) destaca que nesta abordagem deve-se atuar sobre o problema por meio de variáveis numéricas, baseadas no exame teórico do caso, o que faz com que exista uma preocupação com a mensuração dos dados, pois o modo de análise é estatístico.

Os meios de coleta de dados utilizados para este estudo de caso basearam-se em 2 fontes distintas propostas por Yin (2001): documentos, incluindo planilhas de ocorrência com os registros das paradas dos equipamentos envolvidos neste estudo, assim como registros em arquivos, os quais propiciaram acesso a dados históricos de indicadores de manutenção dos caminhões antigos, a serem comparados com os novos.

Dentre os dados que foram necessários para a realização do estudo destacam-se o: número de paradas, tipo de manutenção que ocasionaram estas paradas, bem como suas respectivas durações. Estes dados foram fundamentais para a composição dos indicativos analisados: MTBF, MTTR e Disponibilidade Física.

Após a composição dos indicadores, foi realizada a comparação entre os equipamentos antigos e os equipamentos novos da mesma frota. Os períodos comparados foram as primeiras 1000 horas de operação após entrega dos equipamentos, tanto para os caminhões reformados quanto para os novos. A escolha do intervalo se deu de forma a evitar diferenciações relacionadas ao período de entrega que aconteceu em momentos diferentes. Foram comparados 6 equipamentos reformados e 6 equipamentos novos. Os resultados foram apresentados de forma gráfica, comparando os parâmetros apresentados no mesmo período, entre o caminhão reformado e o caminhão novo.

Os resultados obtidos no estudo foram analisados e discutidos, considerando-se a literatura existente, assim como as necessidades das partes interessadas envolvidas. Além disso, foram mostradas quais ações foram necessárias para obtenção do resultado esperado no estudo proposto. Com base nisso, foram desenvolvidas as considerações finais e possíveis sugestões de melhoria.

4. Resultados e Discussão

4.1 Caracterização do problema

Os caminhões fora de estrada utilizados como foco do estudo pertencem a uma mineradora de grande porte, e foram fornecidos por uma empresa revendedora que atua com vendas de maquinários automotivos importados. A aquisição destes caminhões foi inicialmente realizada em 2006, sendo sua performance medida ao longo dos anos de operação.

Por questões estratégicas, em 2015, a empresa optou por retirar estes equipamentos de operação temporariamente. Após 5 anos desativados, foi estabelecido o retorno desses ativos à operação, os quais não se encontravam em condições de retomada imediata. Como solução, a empresa revendedora foi novamente contratada para a realização da reforma dos

equipamentos, deixando esses, à princípio, em condições semelhantes ou iguais à de um equipamento novo. A empresa revendedora apresentou um projeto de reforma certificada que assegurava as necessidades do cliente, com valores de aquisição cerca de 60% menores se comparados a equipamentos novos.

Em uma reforma certificada, os produtos são remanufaturados e comercializados sob os termos de um acordo firmado entre a marca do equipamento e o revendedor. O processo inclui requisitos específicos como: o fornecimento de peças que devem ser sempre substituídas, atualizações de produtos que devem ser incorporadas, procedimentos que devem ser realizados e determinadas verificações de qualidade necessárias durante e após o processo de reconstrução. O atendimento destes requisitos visa garantir as mesmas condições de desempenho e produtividade de um produto novo.

Após a entrega dos equipamentos reformados, a empresa mineradora identificou em seus indicadores de manutenção que o rendimento e a produtividade desejada não estavam sendo alcançados. Os mesmos resultados também foram identificados pelo revendedor, que elaborou um plano de ação com a disponibilização de peças e serviços para assegurar a qualidade dos caminhões junto ao seu cliente. Este plano de ação teve duração de 1.000 horas.

Foi proposto pela revendedora responsável pela reforma e montagem dos caminhões, que disponibilizassem seis técnicos para acompanhamento da frota. A divisão da equipe que suportou o projeto foi disposta da seguinte forma: um técnico para realizar o apoio às inspeções diárias dos ativos, de forma a identificar as possíveis anomalias e gerar os backlogs para correção dentro das manutenções programadas. Cinco técnicos para o atendimento das manutenções preventivas programadas semanalmente e de manutenções corretivas, consideradas como prioritárias. Durante a execução das tarefas, esses técnicos deixavam a execução da manutenção preventiva para o cliente, a fim de evitar o aumento do indicador de tempo médio para reparos, diretamente afetado pelas corretivas em andamento.

Com base nesse novo cenário, optou-se por realizar a verificação da evolução dos indicadores de manutenção, bem como o desempenho dos equipamentos durante o período estabelecido no plano de ação. Essa análise forneceu uma oportunidade de comparação do desempenho de equipamentos novos e reformados, objetivo principal do artigo.

4.2 Apresentação dos resultados e discussões

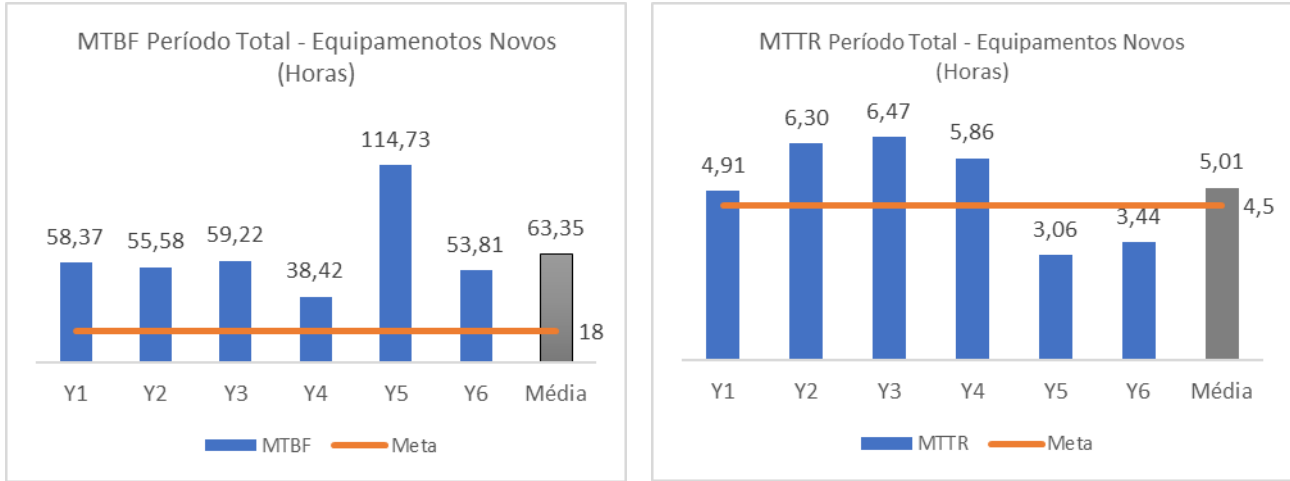
Por meio dos registros de ocorrência levantados, tanto referente aos caminhões reformados quanto aos equipamentos novos, foram estruturados os indicadores de Disponibilidade Física (DF), Mean Time Between Failure (MTBF), Mean Time To Repair (MTTR). Para isso, os dados foram separados por intervalos entre 0 e as primeiras 1000 horas de operação após liberação dos equipamentos. A utilização de intervalos de horas compreende um parâmetro importante para a análise, uma vez que os equipamentos iniciaram sua operação em períodos distintos. A opção pela utilização de horas de operação como parâmetro na divisão pelo intervalo se deu uma vez que os equipamentos podem ter variações mensais em seu nível de utilização, o que poderia mascarar os dados comparados. Desta forma é possível obter um padrão na análise destes parâmetros para a comparação de caminhões novos e reformados. Além disso, com a utilização por intervalo é possível identificar o desempenho nas primeiras horas de operação, momento em que surgem falhas prematuras, as quais possuem relação direta com a adaptação dos equipamentos. Para uma melhor identificação, os equipamentos reformados foram chamados pelos prefixos: Caminhão Reformado X1, X2, X3, X4, X5 e X6. Já os equipamentos novos foram chamados pelos prefixos: Caminhão Novo Y1, Y2, Y3, Y4, Y5 e Y6.

4.2.1 Equipamentos novos

A análise do MTBF e MTTR dos caminhões novos no intervalo de 0 a 1000hs permitiu comparar o desempenho dos equipamentos em função das metas estipuladas pela organização (Figura 1). Nota-se que tanto a média dos MTBFs de todos os equipamentos quanto os valores individuais de cada um atingiram a meta estipulada pela empresa contratante (maior que

18hs). O caminhão Y4 foi o que apresentou o menor tempo entre falhas (38,42hs), o que se deu em função do número elevado de 24 ocorrências de manutenções corretivas.

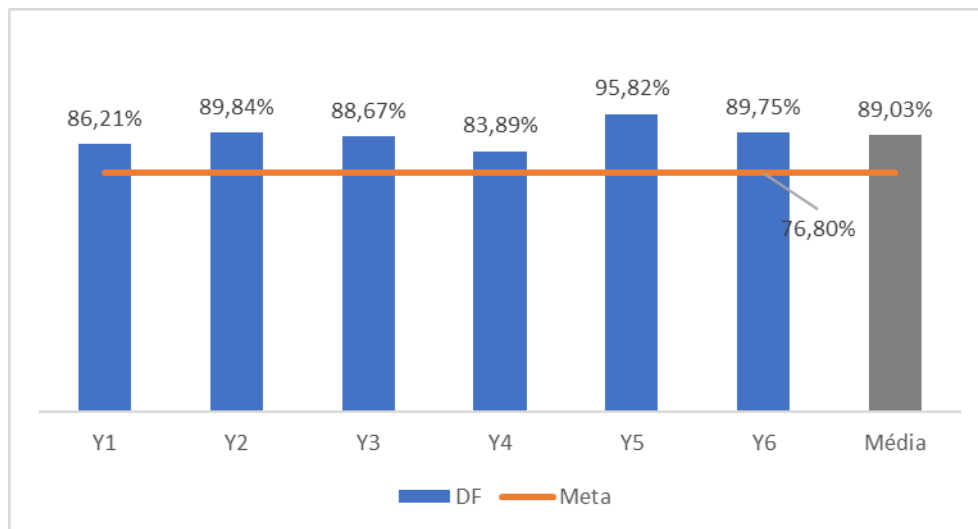
Figura 1: MTBF e MTTR para equipamentos novos.



Fonte: Autores.

Em contraste ao MTBF, a média do MTTR não atingiu a meta estipulada pela empresa (menor que 4,5hs), apresentando um valor aproximado de 5hs, ligeiramente maior que o desejado. Isso se deu uma vez que os caminhões Y1, Y2, Y3 e Y4 apresentaram tempos mais elevados de reparo, influenciando negativamente no resultado. Em todo o período, estes equipamentos gastaram uma média de 174 horas totais em reparo, ou seja, aproximadamente 17,4% do tempo trabalhado. Com relação à disponibilidade, nota-se que os valores obtidos se mantiveram acima da meta estipulada (maior que 76,8%), como pode ser observado na Figura 2. O resultado se repetiu tanto para a disponibilidade individual dos caminhões quanto para disponibilidade média. Desta forma, nota-se uma influência considerável dos valores de MTBF, os quais atingiram valores muito maiores que a média.

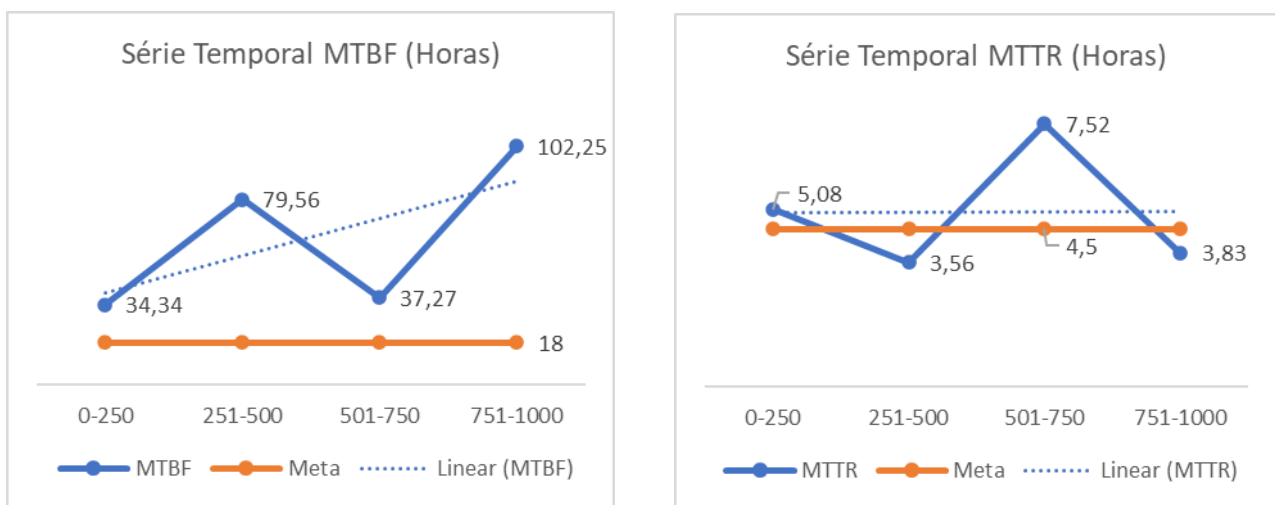
Figura 2: DF no período de 1000hs para equipamentos novos.



Fonte: Autores.

Por meio da análise dos períodos é possível verificar o comportamento dos indicadores no tempo (Figura 3). O desempenho do MTBF, mostra uma possível tendência de melhoria com o avanço do tempo de operação. Isso pode ser considerado como o reflexo da redução do número de intervenções, aumentando a quantidade de horas disponíveis para a operação. Em nenhum momento o MTBF apresentou-se abaixo da meta estipulada, embora tenha sido observada uma queda relevante entre 501 e 750 horas devido a um aumento das falhas neste ponto. Já o MTTR mostra uma tendência de estabilidade quanto ao tempo de reparo, apresentando-se alternadamente abaixo e acima da meta. Destaca-se o período entre 501 e 750 horas, que apresentou 7,52 horas de MTTR, o que representa falhas com maior tempo de correção. Desta forma, entende-se que à medida que o uso dos caminhões novos avança no tempo, as falhas prematuras vão desaparecendo, embora a tendência do tempo para reparo se mantenha em média.

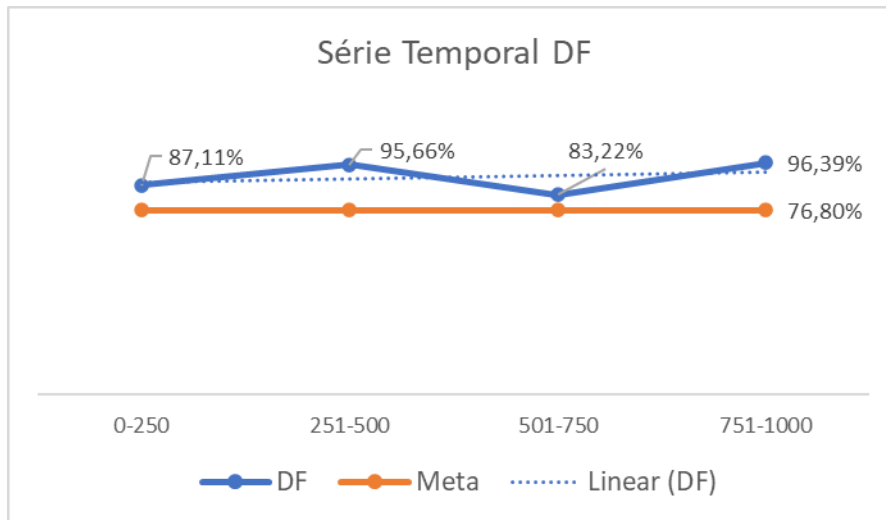
Figura 3: Série temporal MTBF e MTTR para equipamentos novos.



Fonte: Autores.

Como consequência dos indicadores de MTBF e MTTR, a disponibilidade se mostrou promissora ao longo do tempo. Como o tempo entre as falhas apresentou uma tendência de aumento e o tempo médio para reparos se manteve constante, nota-se que os equipamentos se tornaram mais confiáveis com o tempo, apresentando uma maior quantidade de horas para operação (Figura 4).

Figura 4: Série temporal DF para equipamentos novos.

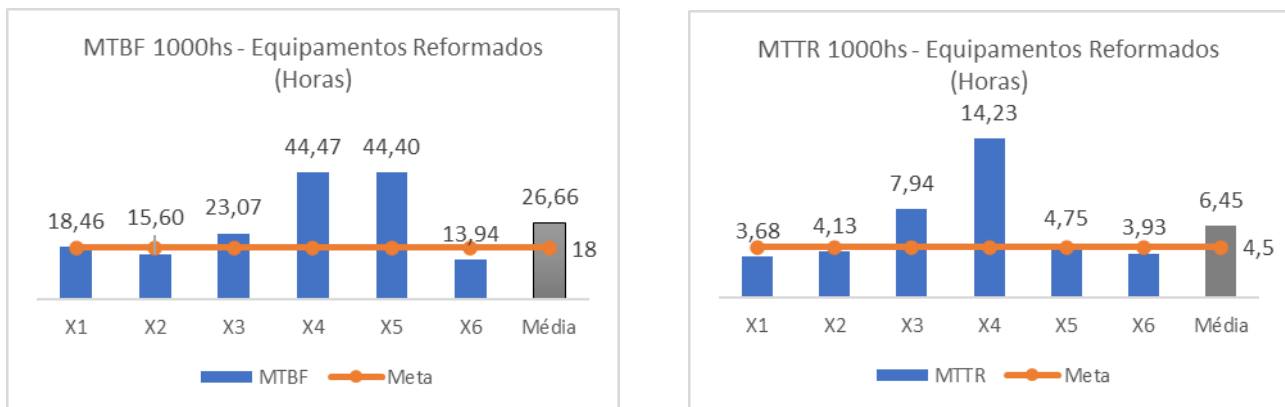


Fonte: Autores.

4.2.2 Equipamentos reformados

O MTBF dos caminhões reformados apresentou um comportamento consideravelmente diferente se comparado com os caminhões novos. Na Figura 5 pode-se verificar que, embora o MTBF médio dos caminhões tenha atingido os resultados esperados pelo cliente (maior que 18hs), nem todos eles apresentaram valores favoráveis de forma isolada. Os caminhões X2 e X6 obtiveram um tempo entre falhas abaixo da meta. Isso se deu devido a uma maior incidência de intervenções corretivas referentes a 145 falhas ocorridas ao longo das primeiras 1000hs de operação.

Figura 5: MTBF e MTTR 1000hs para equipamentos reformados.

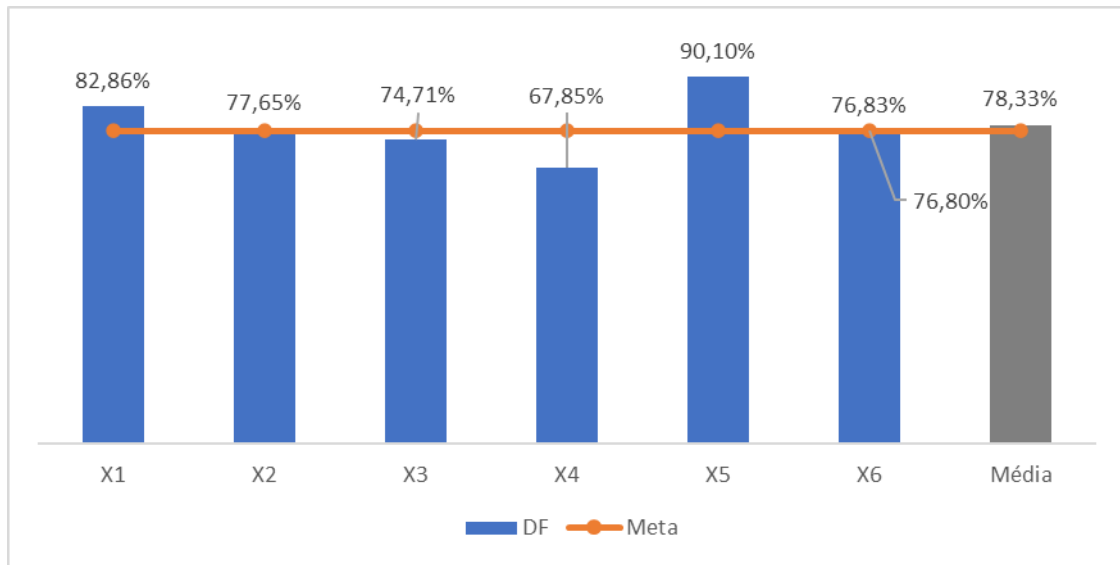


Fonte: Autores.

Para o MTTR, foram observados valores acima do desejado, tendo o cliente estipulado um valor máximo de 4,5 horas. Os caminhões X3, X4, e X5 contribuíram para que o resultado do indicador não fosse atingido. Ao longo do período, estes três equipamentos apresentaram em média 357,99 horas de reparo, o que corresponde a aproximadamente 35,8% do tempo de trabalho.

Como reflexo dos indicadores de MTBF e MTTR, o indicador de Disponibilidade pode ser verificado na Figura 6. Embora a média de disponibilidade tenha atingido a meta da empresa contratante, os caminhões X3 e X4 não conseguiram alcançar a meta, tendo o caminhão X4 apresentado o pior desempenho.

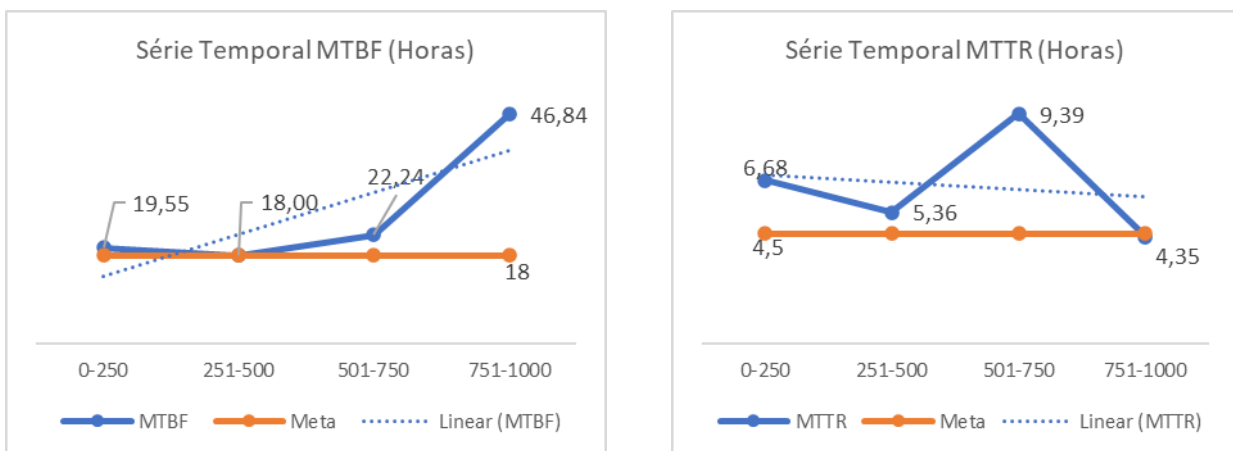
Figura 6: DF período de 1000hs para equipamentos reformados.



Fonte: Autores.

As séries temporais dos indicadores de MTBF e MTTR dos caminhões reformados, conforme apresentado na Figura 7, mostra a evolução dos indicadores ao longo do projeto até as 1000hs iniciais de operação da frota. No tocante ao MTBF, esse apresentou um desempenho dentro da meta estipulada nos dois primeiros períodos de análise (até 500hs), porém, muito próximos ao valor mínimo almejado. Foi possível observar um aumento considerável no terceiro e quarto período de análise, acentuando-se consideravelmente no último. Isso mostra uma possível tendência positiva, a qual pode ser explicada pela redução das falhas prematuras e começo das atividades de acompanhamento, iniciadas após as primeiras 250hs de operação. Já o MTTR, apresentou nos três primeiros períodos valores fora da meta almejada, a qual foi alcançada apenas no último período de análise, mostrando uma tendência positiva de redução. Desta forma, pode-se entender que, além da redução no número de falhas com aumento do intervalo entre elas ao longo do tempo, também foi reduzido o tempo necessário para corrigir essas falhas, trazendo maior confiabilidade.

Figura 7: Série temporal MTBF e MTTR para equipamentos reformados.

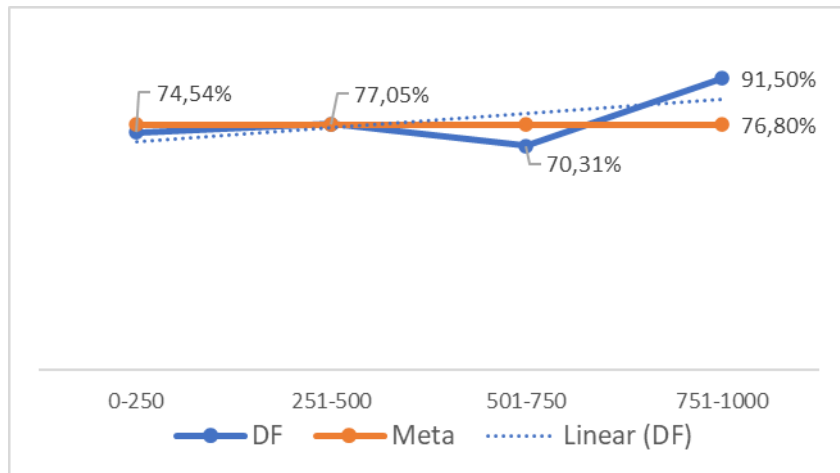


Fonte: Autores.

A série temporal da disponibilidade física dos caminhões reformados, apresentada na Figura 8, mostra o mesmo comportamento de melhoria de desempenho observada nos indicadores de MTBF e MTTR. Nas primeiras 250 horas, momento

em que somente a equipe de manutenção da empresa contratante estava atuando nas intervenções, nota-se um resultado consideravelmente abaixo da meta. Nota-se então uma tendência de aumento com a alocação da equipe de manutenção do revendedor dos equipamentos.

Figura 8: Série temporal DF para equipamentos reformados.

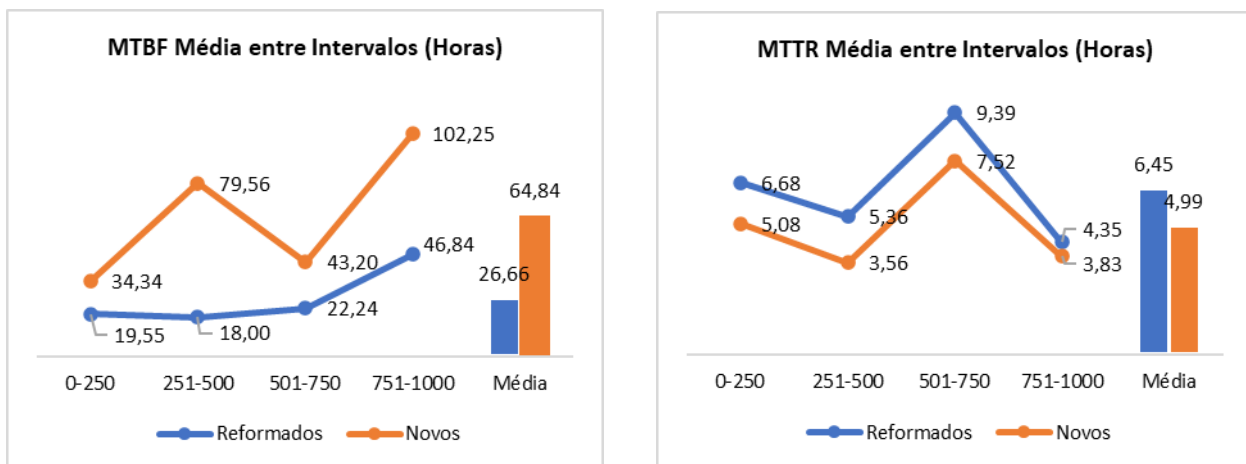


Fonte: Autores.

4.2.3 Comparação entre caminhões reformados e caminhões novos

Com base nos dados levantados foi possível realizar a comparação entre o desempenho dos caminhões novos e dos caminhões reformados em função do MTBF e MTTR (Figura 9). A diferença do MTBF entre os dois grupos de equipamentos é nítida tanto na evolução temporal, quanto na média geral, que se apresentou 143% maior em equipamentos novos. Já no MTTR pode ser observado um comportamento mais próximo no que diz respeito ao tempo de reparo entre as duas frotas. Isso tanto na análise da evolução temporal, quanto da média geral, em que a frota de caminhões novos apresentou o MTTR 23% menor comparado com os caminhões reformados.

Figura 9: MTBF e MTTR Média entre intervalos entre equipamentos reformados e novos.

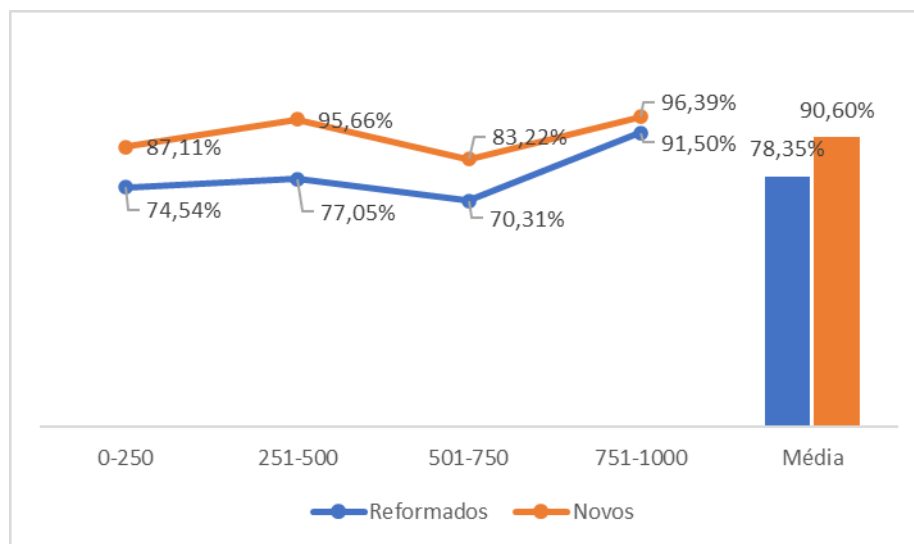


Fonte: Autores.

Com relação à disponibilidade, nota-se também uma discrepância tanto na série de valores quanto na média, tendo os equipamentos novos alcançado melhores resultados. Duas questões podem ser verificadas quando analisada a série temporal.

Primeiramente, nota-se uma variação de valores de desempenho ligeiramente maior nos equipamentos reformados de 16,96% (74,54% - 91,50%) que nos equipamentos novos de 9,28% (87,11% - 96,39%). Em segundo lugar, nota-se uma tendência de crescimento muito mais clara nos equipamentos reformados, com uma maior aproximação aos equipamentos novos nos dois últimos períodos, conforme mostra Figura 10.

Figura 10: DF média entre intervalos entre equipamentos reformados e novos.



Fonte: Autores.

A discrepância entre os valores observados tem origem principalmente na manutenção corretiva. Neste caso, nota-se que elas são superiores nos equipamentos reformados, tanto em número (127% maiores) quanto em duração (134% maiores), conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Quantidade e tempo de manutenções corretivas caminhões.

	Número de Corretivas	Tempo total de corretivas (h)
Novos	127	599,33
Reformados	288	1401,00
Diferença	161	801,67
Variação	127%	134%

Fonte: Autores.

4.3 Discussão

As melhorias verificadas na série temporal dos equipamentos reformados apresentam fortes indícios de estarem ligadas à evolução dos trabalhos da equipe do revendedor. Por se tratar de uma atuação nova, essa vem ampliando sua sinergia com o time de manutenção do cliente, que juntos ampliam seu conhecimento sobre as falhas, o que contribui, segundo Stepanski e Costa (2010) para uma melhor aprendizagem dentro da organização. Pôde-se notar o desenvolvimento de um olhar mais crítico nas inspeções, reduzindo a duração das paradas e atuando preventivamente, o que resultou em melhorias significativas, com reparos mais rápidos e eficazes. Porém, mesmo com estes resultados, nota-se que a frota de caminhões reformados ainda necessita de atenção, de forma a minimizar ainda mais o tempo de reparo e assim atingir melhores índices. Isso se deve ao fato de que a média geral de disponibilidade dos caminhões reformados está abaixo dos caminhões novos.

De posse dos resultados, nota-se a importância da orientação de esforços para melhorar as rotinas, bem como os planos de inspeção (Tavares, 2005). É importante desenvolver meios de atuação incisivos em janelas de oportunidades, como paradas programadas, ou em pequenos reparos durante as inspeções, de forma a diminuir a quantidade de paradas para manutenção corretiva. Como consequência, deve ser mantido um foco especial na qualidade das manutenções preventivas, visando a sua realização com menor tempo e dentro dos intervalos recomendados pelo fabricante (Fogliatto & Ribeiro, 2011).

Outro ponto a se destacar está ligado ao processo de reforma destes caminhões que, mesmo certificados pela fabricante, é diferente se comparado ao processo de fabricação dos caminhões novos. Devido à complexidade das reformas, estas podem resultar em um maior tempo de redução das falhas prematuras (Chan & Meeker, 1999). Este tempo é necessário para que a equipe de manutenção conheça melhor o equipamento e suas falhas, bem como as medidas de resposta adequadas. Isso significa que, estes equipamentos podem demorar um prazo maior para atingir a confiabilidade desejada. O entendimento deste ponto é importante uma vez que, embora a disponibilidade dos caminhões reformados tenha se mostrado inferior à dos caminhões novos, foi possível notar uma tendência à redução da disparidade entre eles.

Após o término do acompanhamento inicial de 1000hs, a empresa cliente deu continuidade à gestão da manutenção destes equipamentos. Conforme dados obtidos, os caminhões reformados chegaram a uma disponibilidade média de 88,04% com 2000 horas de operação. Porém, não existem dados do mesmo período para os caminhões novos, impossibilitando uma comparação, uma vez que estes não atingiram este patamar de horas. O aumento da disponibilidade dos caminhões reformados mostra que, mesmo depois do término do projeto, os equipamentos melhoraram o seu desempenho. Isso destaca a importância da redução das falhas prematuras, do tempo de manutenções corretivas e do aumento do tempo de operação do equipamento.

5. Conclusão

O estudo de caso abordado neste artigo visou a realização de uma comparação empírica sobre os principais indicadores de desempenho de manutenção entre caminhões novos e reformados. O estudo comparativo entre a frota reformada e a frota nova de caminhões fora de estrada, trouxe contribuições ao desenvolvimento do tema, com foco na reutilização de equipamentos desativados.

Dentre as constatações realizadas, foi possível perceber que o desempenho dos caminhões reformados nas primeiras 1.000hs de operação se apresentou abaixo dos caminhões novos para os indicadores analisados. Porém, mesmo neste cenário, a disponibilidade média da frota reformada mostrou-se dentro dos limites aceitáveis pela empresa, mantendo-os ainda como uma possível opção de investimento, uma vez que o valor de aquisição de cada caminhão reformado chega a ser 60% mais barato que de caminhões novos. Visto isso, a empresa cliente considerou positivo o projeto, expandindo as compras para seis novos caminhões fora de estrada, três tratores de esteiras e uma motoniveladora.

Outra constatação importante foi quanto à melhoria dos indicadores observada com as ações conjuntas de manutenção. Essas ações foram realizadas pelo cliente e pela revendedora dos caminhões com foco em atingir a performance desejada. Como resultado, foi possível verificar uma tendência de aproximação da performance dos equipamentos reformados com relação aos novos. Desta forma, entende-se que é esperado que equipamentos reformados, que permaneceram fora de operação por anos, apresentem um período maior para a redução de falhas prematuras.

Como limitação dos estudos realizados, pode ser destacado o tempo disponível para a coleta de dados. Com um tempo mais amplo, seria possível confirmar as tendências observadas nos indicadores levantados. Porém, mesmo com esta limitação, foi possível observar seu comportamento e realizar a comparação pretendida. Além disso, não foi possível ter acesso aos valores relacionados ao custo da manutenção e aquisição dos equipamentos, o que permitiria realizar um comparativo financeiro, tendo este ficado fora do recorte da pesquisa.

Desta forma, como proposta de estudos futuros, sugere-se a ampliação da coleta de dados para um período mais

amplo. Por meio dela, seria possível confirmar as tendências observadas e verificar o quão mais próximo dos equipamentos novos, os caminhões reformados são capazes de performar ao longo do tempo.

Referências

- Agência Brasil (2021). IBGE: produção industrial cai 1,3% frente a março 2021. Recuperado de <https://agenciabrasil.ebc.com.br/radioagencia-nacional/economia/audio/2021-06/ibge-producao-industrial-cai-13-frente-marco-de-2021>.
- ABNT NBR 5462, 1994: Confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro: Associação Brasileira De Normas Técnicas.
- Biasotto, E. (2006). *Aplicação do BSC na Gestão da TPM – Um estudo de caso em indústria de processo*. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica). Programa de Pós Graduação de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.
- Bazi, F. L., & Trojan, F. (2014). Análise de falhas: uma visão holística da melhoria contínua através da manutenção produtiva total (TPM) em um estudo de caso. *Revista ADMPG*, 7(2), 51-61. Recuperado de <https://www.revistas.uepg.br/index.php/admpg/article/view/14053>.
- Bohoris, G. A., Vamvalis, C., Trace, W., & Ignatiadou, K. (1995). TPM implementation in Land-Rover with the assistance of a CMMS. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. 1(4), 3-16. 10.1108/13552519510105179.
- Branco Filho, G. (2006). *Indicadores e índices de manutenção*. Ciência Moderna.
- Chan, V., & Meeker, W. (1999). A failure-time model for infant-mortality and wearout failure modes. *IEEE Transactions on Reliability*, 48(4), 377-387.
- Coutinho, H. L. (2017). *Melhoria contínua aplicada para carregamento e transporte na operação de mina a céu aberto*. 94p (Dissertação, Mestrado em Engenharia Mineral). Departamento de Engenharia de Minas–UFOP, Ouro Preto, MG, Brasil.
- Darling, P. (2011). *SME mining engineering handbook*. 3rd Edition. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration. Colorado.
- Fogliatto, F. S., & Ribeiro, J. L. R. D. (2011). *Confiabilidade e manutenção industrial*. Elsevier: ABEPRO.
- Fonseca, F. E. A., & Rozenfeld, H. (2012). Medição de desempenho para a gestão do ciclo de vida de produtos: uma revisão sistemática da literatura. *Revista Produção Online*, 12; (1), 159-184. 10.14488/1676-1901.v12i1.853.
- Fuentes, F. F. E. (2006). *Metodologia para inovação da gestão de manutenção industrial*. 208p. (Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica), Programa de Pós Graduação de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.
- Gil, A. C. (2008). *Como elaborar projetos de pesquisa*. (4a ed.) Atlas.
- Hopkinson, J., Perera, N., & Kiazim, E. (2016). Investigating reliability centered maintenance (RCM) for public road mass transportation vehicles. *MATEC Web of Conferences* (Vol. 81; p. 08006). EDP Sciences. 10.1051/mateconf/20168108006.
- Husniah, H., Pasaribu, U. S. & Iskandar, B. P. (2018). Lease Contract in Usage Based Remanufactured Equipment Service System. In *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems* (pp. 198-205). Springer, Cham.. 10.1007/978-3-319-99707-0_25.
- Jaworski, T. (2017). Equipamentos para escavação–compactação e transporte. Recuperado de http://www.dtt.ufpr.br/Equipamentos/Arquivos/Apostila de Equipamentos Digitalizada_Tadeo_Jaworski.pdf. (Apostila de Equipamentos Digitalizada_Tadeo_Jaworski).
- Kardec, A., & Nascif, J. (2009). *Manutenção: função estratégica*. (3a ed.) Qualitymark. 384p.
- Kesimal, A., & Bascetin, A. (2000). Replacement study of off-highway trucks in an open-pit coal mine in Turkey. *Mineral Resources Engineering*, 9(02), 279-286.
- Knechtel, M. D. R. (2014). *Metodologia da pesquisa em educação: uma abordagem teórico-prática dialogada*. Curitiba: Intersaberes.
- Marconi, M. A., & Lakatos, E. M. (2003). *Fundamentos da Metodologia Científica*. 5. Atlas.
- Marcorin, W. R., & Lima, C. R. C. (2003). Análise dos Custos de Manutenção e de Não-manutenção de Equipamentos Produtivos. *Revista Ciência e Tecnologia*. 11(22), 35-42. Recuperado de <http://www.drb-m.org/av1/11Custodemanutencao.pdf>.
- Morad, A. M., & Sattarvand, J. (2013). Condition monitoring of off-highway truck tires at Sungun copper mine using neural networks. *Archives of Mining Sciences*, 58(4), 1133-1144.
- Morad, A. M., Pourgol-Mohammad, M., & Sattarvand, J. (2013, November). Reliability-centered maintenance for off-highway truck: case study of sungun copper mine operation equipment. In *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*. 56444, V015T12A013. American Society of Mechanical Engineers.
- Moubray, J. (1997). *Reliability-centered maintenance*. Industria Press Inc.
- Pinto, A. K., & Ribeiro, H. (2002). *Gestão Estratégica e Manutenção Autônoma*. ABRAMAN.
- Prodanov, C. C., & Freitas E. C. (2013). *Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico*. (2a ed.) Feevale.
- Ribeiro, F. F. F. (2017). *Manual de indicadores de desempenho*.

- Ricardo, H. S., & Catalani, G. (2007). *Manual prático de escavação: terraplanagem e escavação de rocha*. (3a ed.) Pini.
- Ruspinuji, M., & Kurniati, N. (2019). Analysis of Off Highway Truck Caterpillar 773E General Overhaul (GOH) Interval. *IPTEK Journal of Proceedings Series*, (5), 240-244.
- Stepanski, I., & Costa, M. E. (2010). *Aspectos Comportamentais da Gestão de Pessoas*. IESDE Brasil S.A.
- Sperancetta, A. (2005). *O impacto da implantação do TPM nos indicadores de manutenção*. (Dissertação Mestrado profissionalizante em engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, Brasil.
- Souza, V. C. (2011). *Organização e gerência da manutenção: planejamento, programação e controle de manutenção*. (4a ed.) All Print.
- Tavares, L. A. (2005). *Manutenção centrada no negócio*. NAT.
- Teles, J. (2019). *Planejamento e controle de manutenção descomplicado: uma metodologia passo a passo para implantação do PCM*. Brasília. ENGETELES Editora.
- Toledo, M. L. G., Freitas, M. A., Colosimo, E. A., & Gilardoni, G. L. (2016). Optimal periodic maintenance policy under imperfect repair: A case study on the engines of off-road vehicles. *IIE Transactions*. 48(8), 747-758. 10.1080/0740817X.2016.1147663.
- Tsuchiya, S. (1992) *Quality maintenance: zero defects through equipment management*. Productivity Press, Cambridge, MA.
- Venanzi, D., Leandro, C. R., & Silva, O. R. (2019). *Engenharia de Sistemas Logísticos e Cadeias de Suprimentos*. Taboão da Serra SP. Livrus Negócios Editoriais.
- Viana, H. R. G. (2002). *PCM – Planejamento e Controle de Manutenção*. Qualitymark.
- Vieira, C. E.B. (2021). *Caracterização e controle de eventos de sobrecarga em Caminhões Fora de Estrada*. (Monografia para Engenharia de Minas) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, Brasil.
- Yin, R. K. (2001). *Estudo de caso: planejamento e métodos*. Daniel Grassi (2a ed.) Bookman.